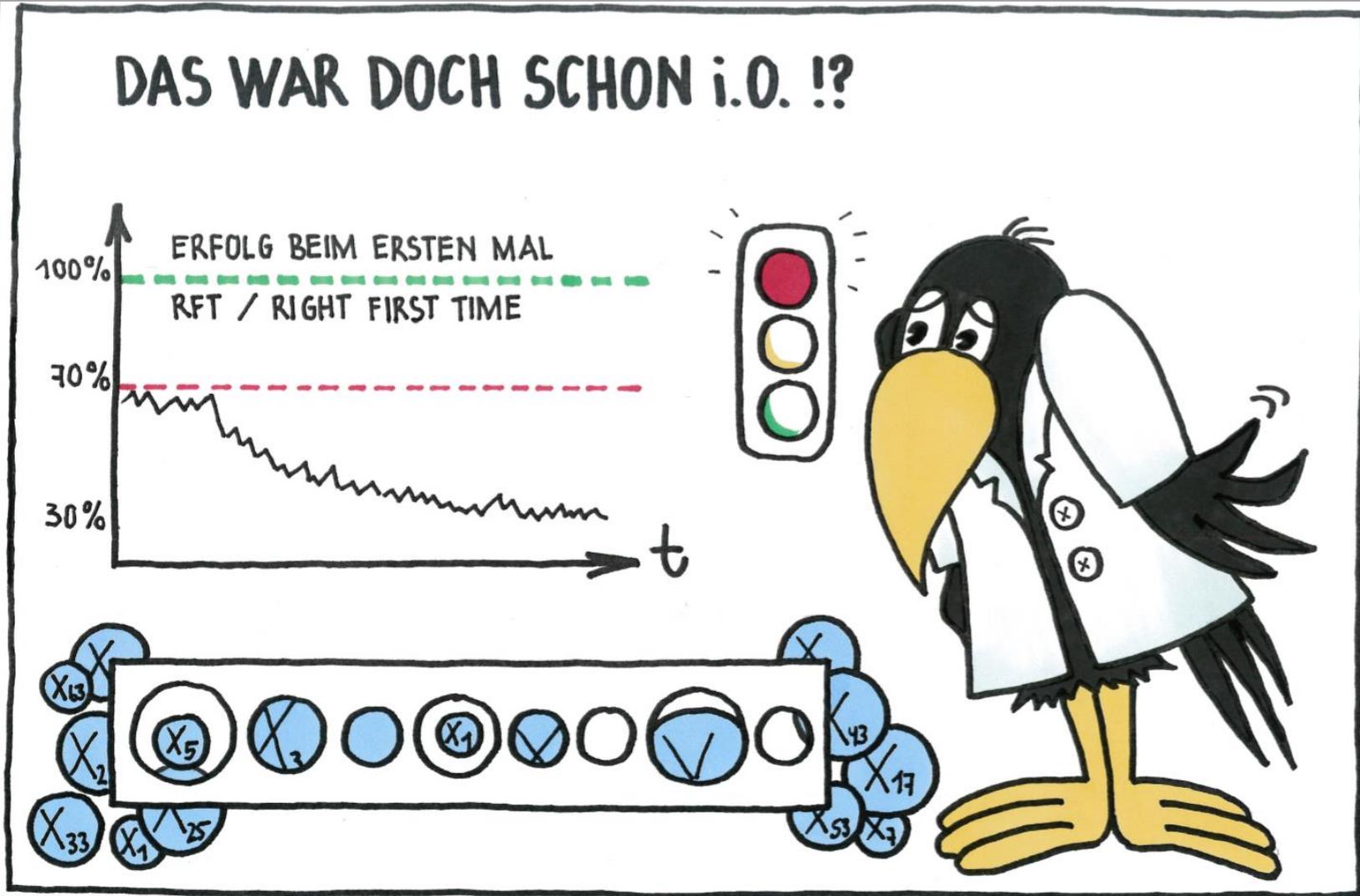


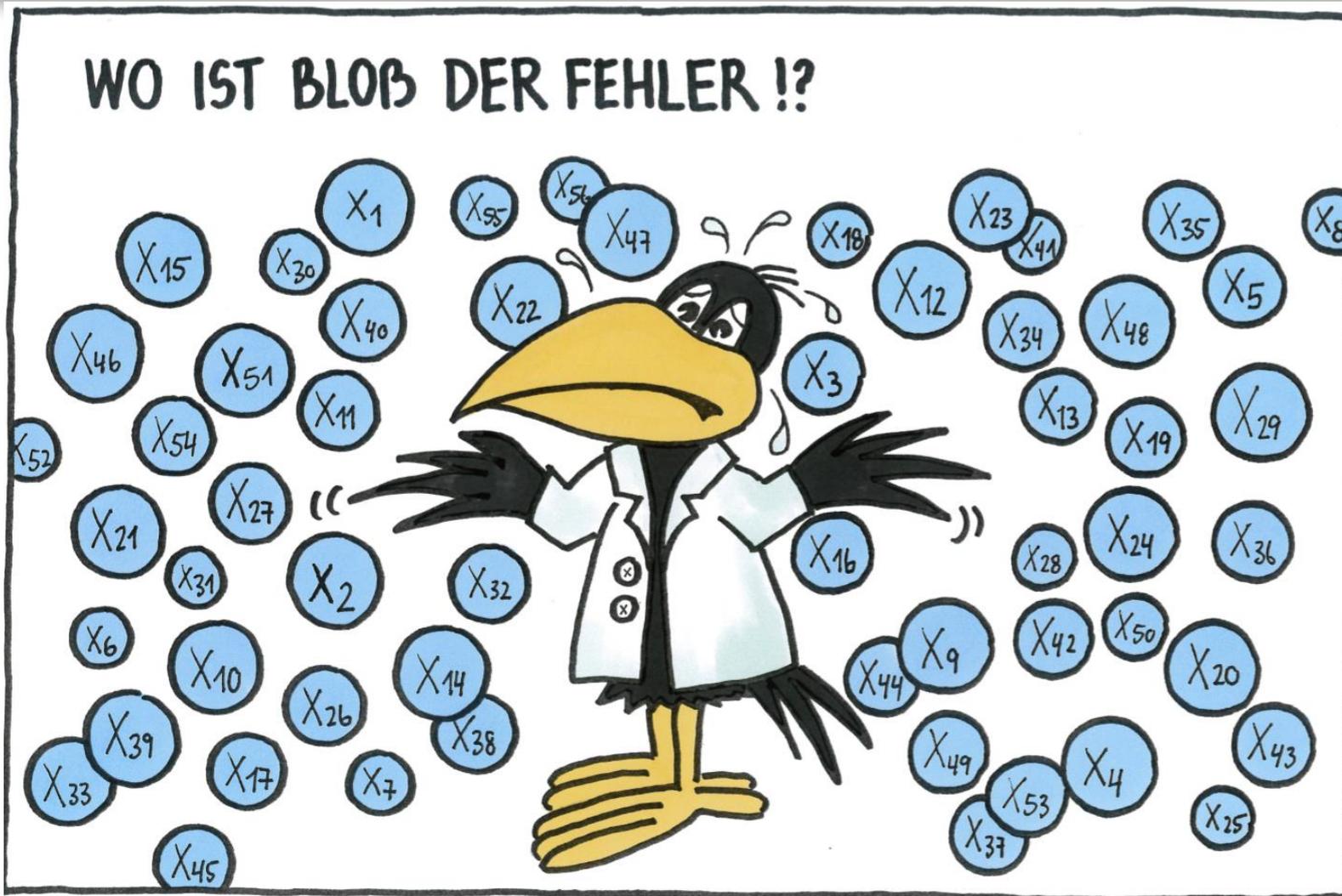
Robust Design für Produkte & Prozesse

Produkte & Prozesse präventiv / reaktiv
entwickeln, optimieren und absichern

Das Thema

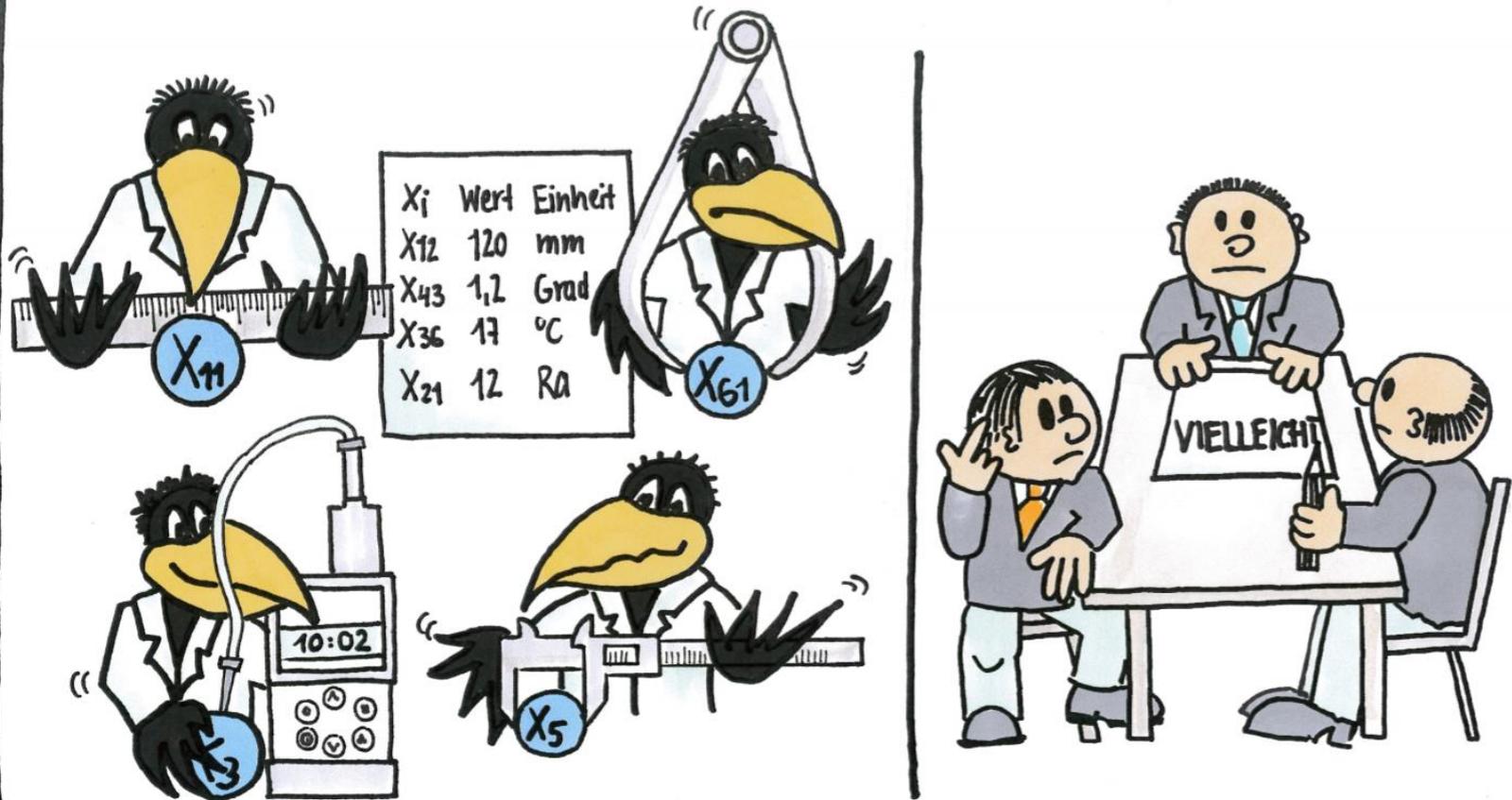


Die Lösungsversuche



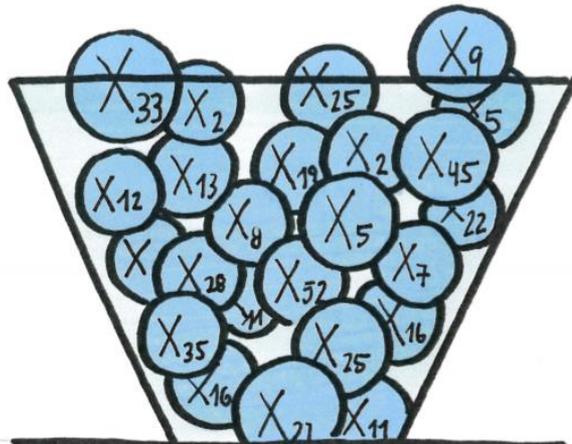
Der Lösungsweg

MESSEN NICHT VERMUTEN!



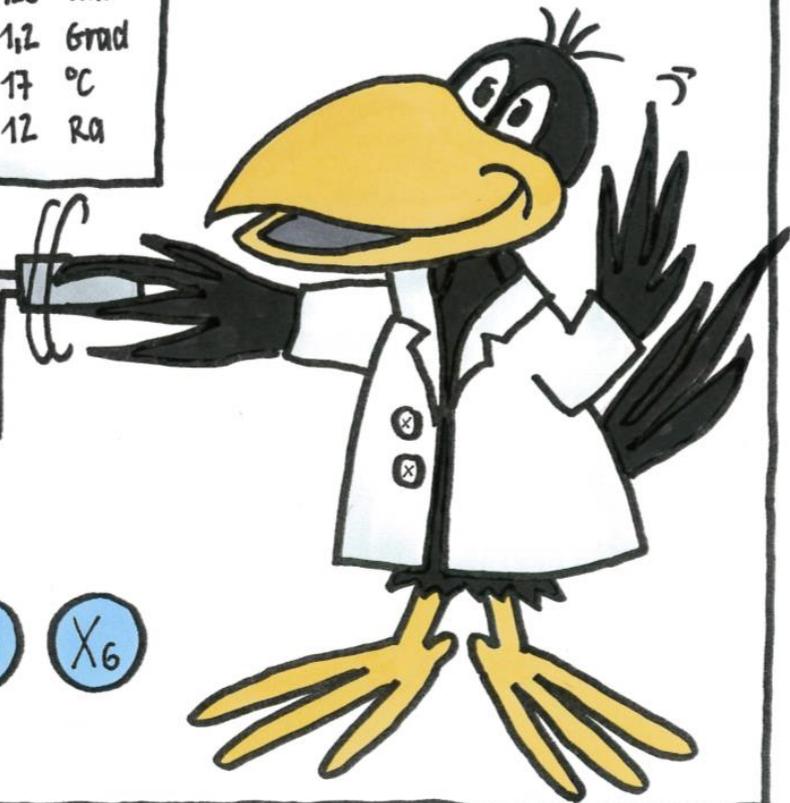
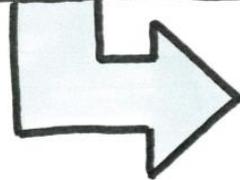
Die Lösungsmethode – Robust Design für Produkte & Prozesse

DIE LÖSUNG: TRANSFERFUNKTIONEN $Y=f(X_i)$



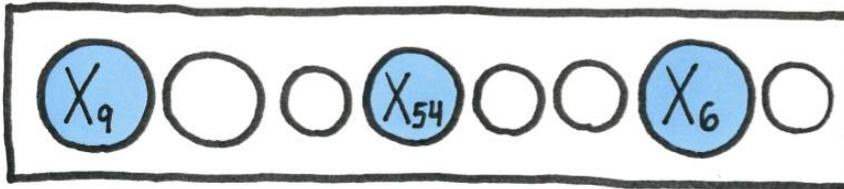
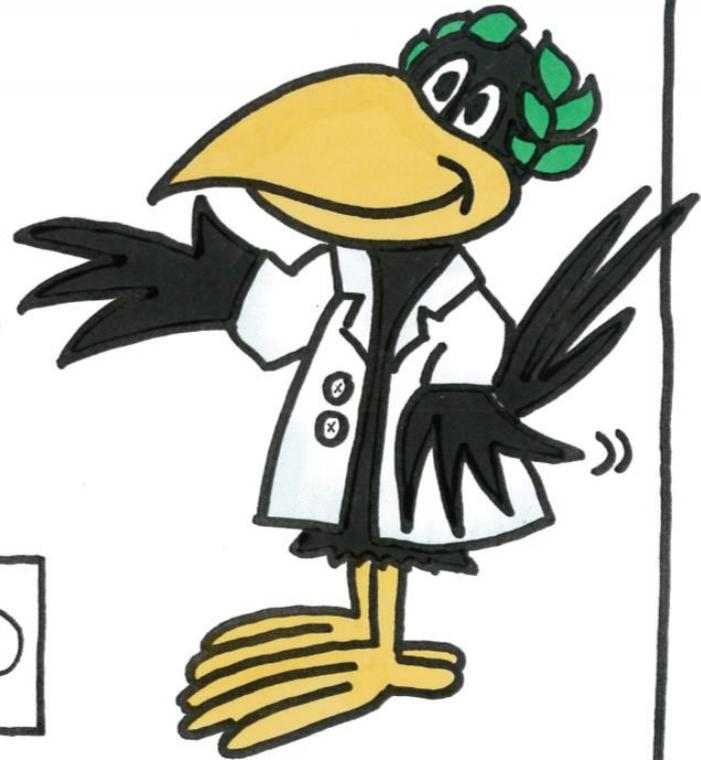
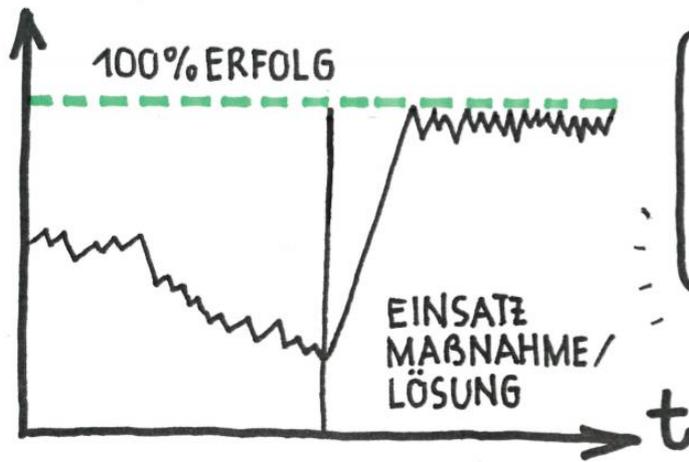
X_i	Wert	Einheit
X_{12}	120	mm
X_{43}	1,2	Grad
X_{36}	17	°C
X_{24}	12	RA

mts Robust Design



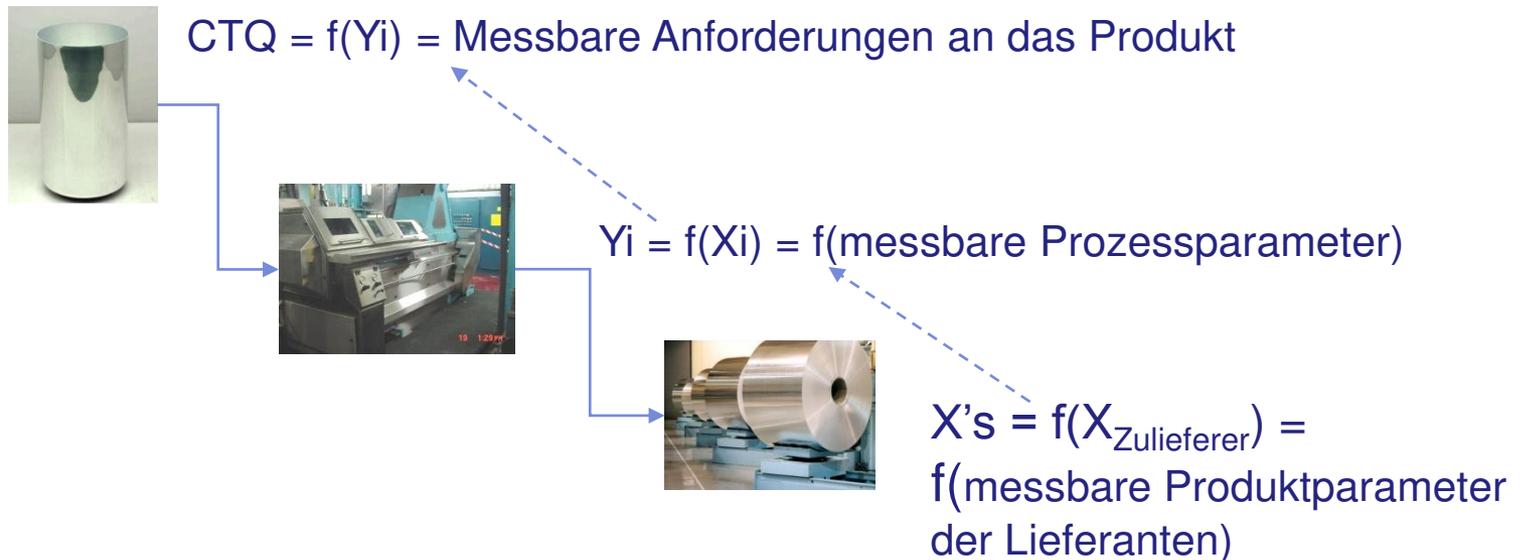
Die Lösung

GESCHAFFT, ES IST i.O.!



Robust Design – Die kausale Kette

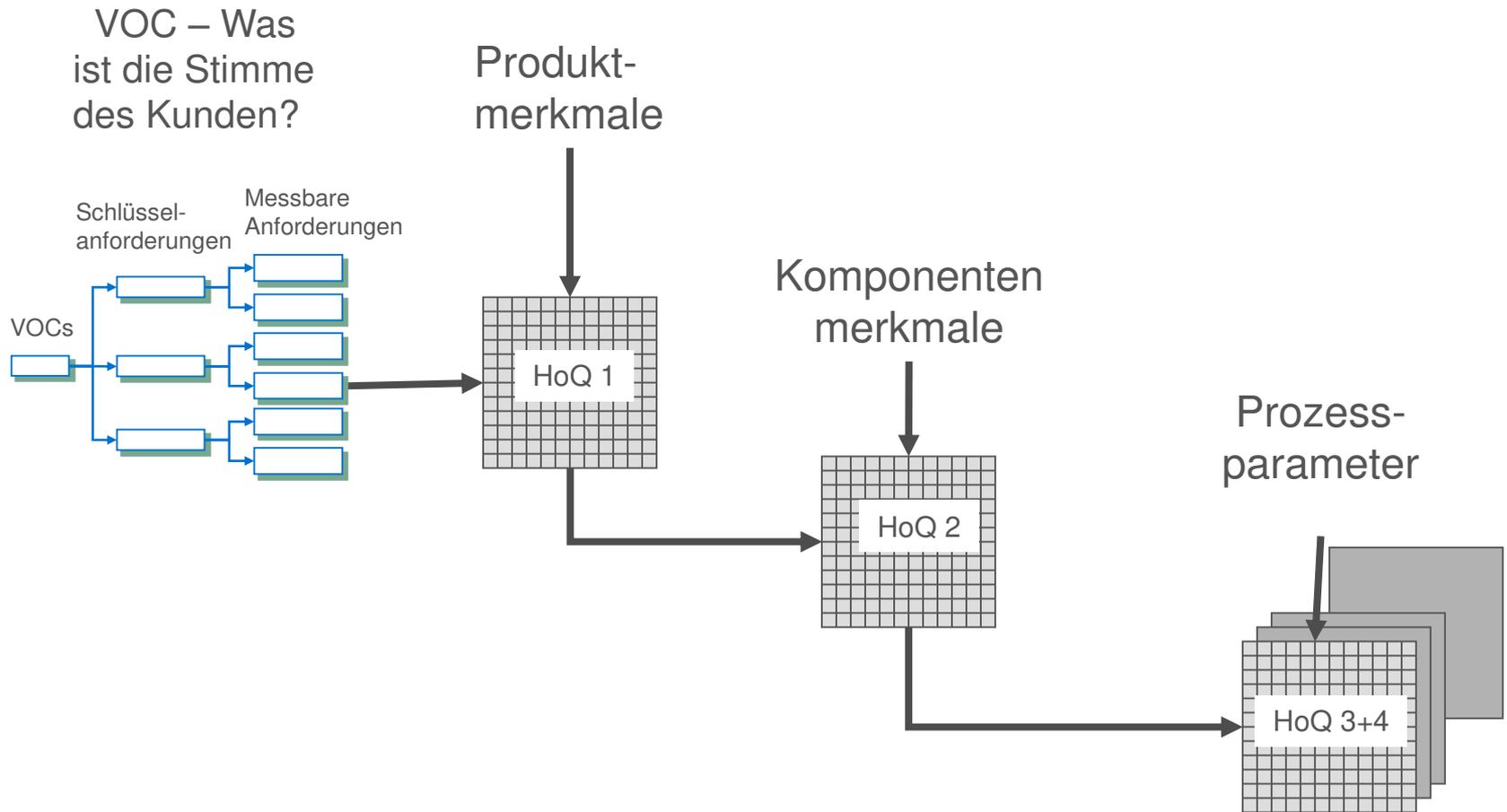
Ziel: Aufbau einer kausalen Kette vom Endprodukt bis hin zu den Prozessparametern



Nutzen:

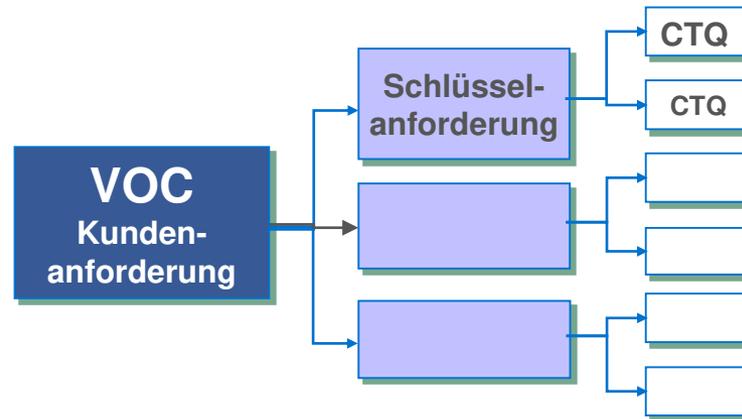
- Kennen der Transferfunktionen $Y_i = f(X_i)$ für Produkte & Prozesse
- Kostensenkungen durch optimierte Parametrierung und Tolerierung
- Kennen der Risiken (Produkt & Prozesse)

Robust Design – Der Weg zum robusten Produkt

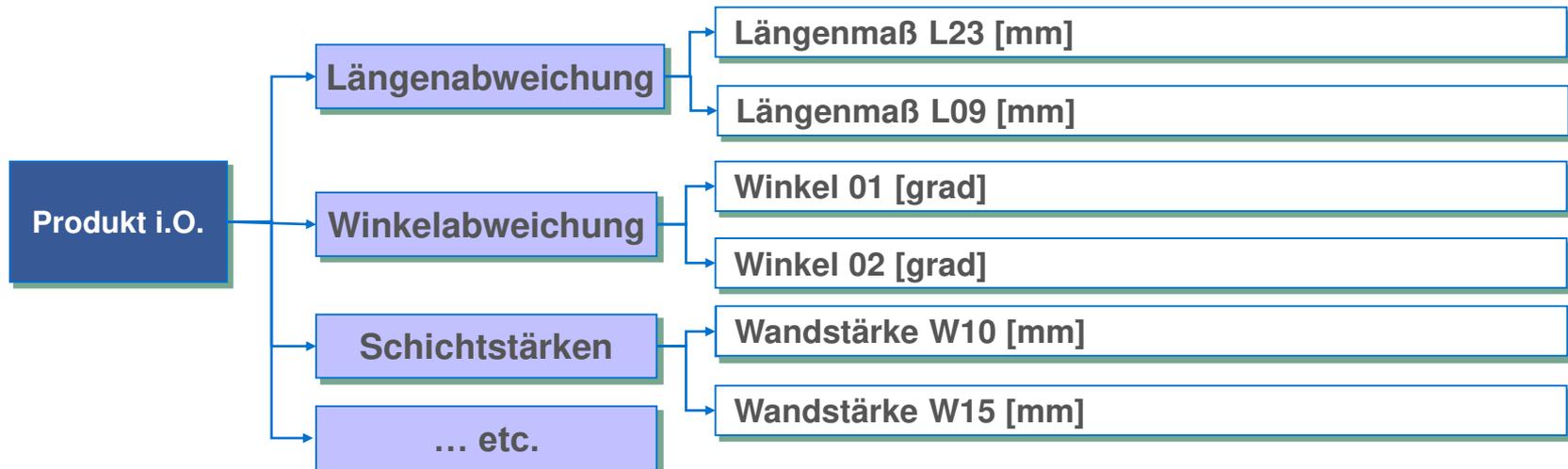


Robust Design – 1. Anforderungsmanagement

Anforderungen in messbare Größen übersetzen



CTQ = Critical to Quality
= messbare Anforderung



Robust Design – 2. Funktionen ableiten mittels Blockschaltdiagramm und Funktionsanalyse

Anforderungen → Funktionen → Produktmerkmale

Critical to Quality

- Farbhelligkeit
- Maßhaltigkeit
- Keine sichtbaren Fehler wie Risse, Fugen, etc.
- Farbton
- Haftung
-



Neues, zu entwickelndes Produkt

Messbare Produktmerkmale

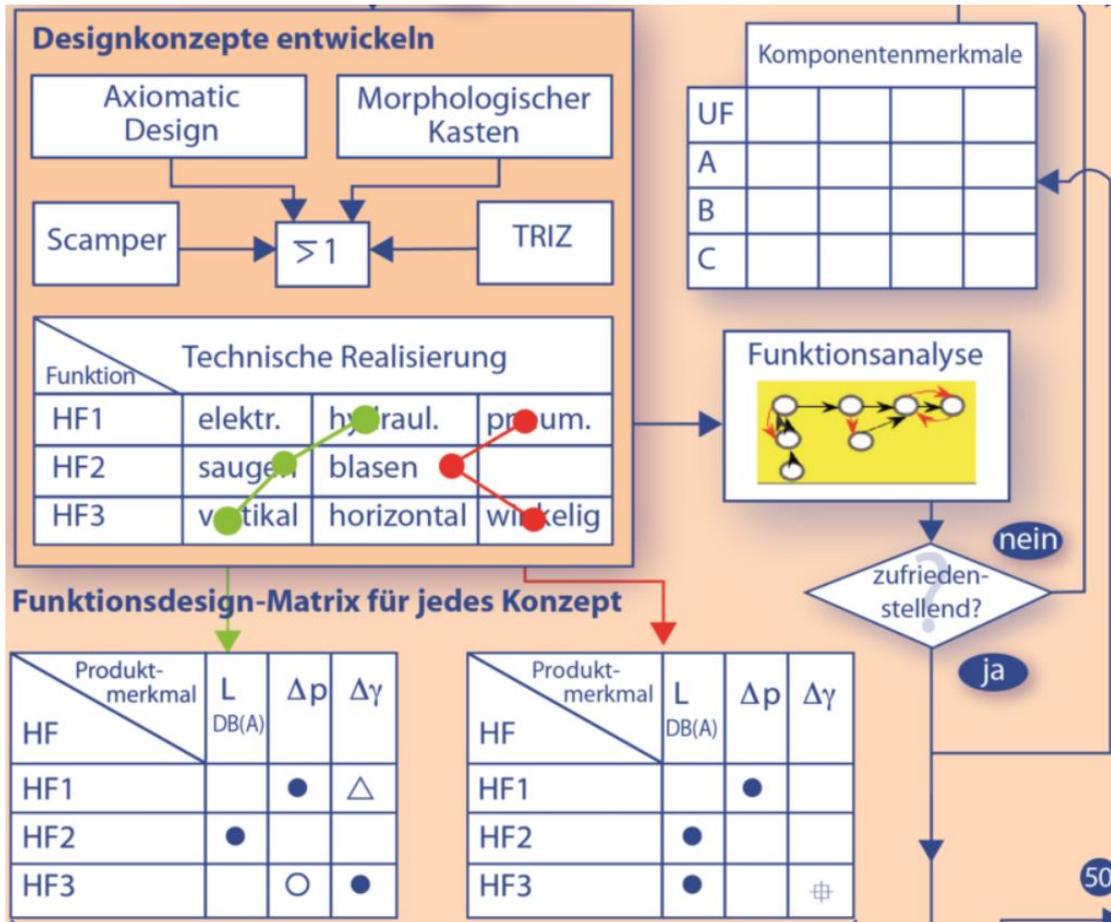
- Spaltmaß [mm]
- Länge [mm]
- Helligkeit
- Welligkeit
- Abzugskraft [N/mm²]
-

Kernfrage: Welche **Funktionen** muss das künftige Produkt erbringen, damit die messbaren Anforderungen CTQ's erfüllt werden ?

Unabhängig von der Technologie !

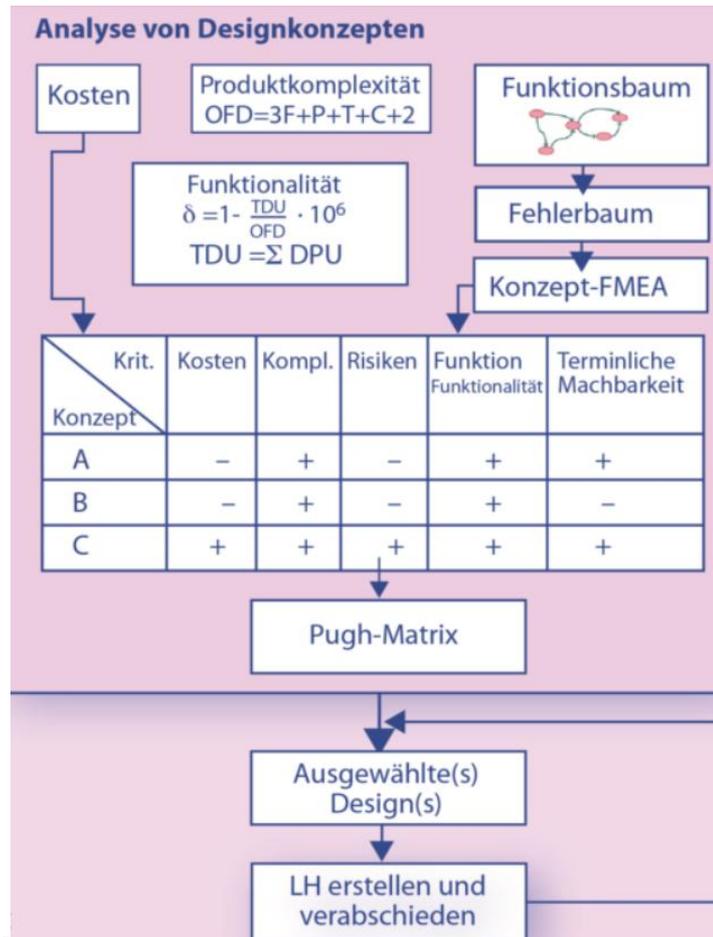
Robust Design – 3. Auf Basis Funktionen Konzepte entwickeln

Mittels Kreativtechniken, Morphologischem Kasten, Scamper, TRIZ und Axiomatic Design werden möglichst viele gute und taugliche Konzepte entwickelt.



Robust Design – 4. Konzepte analysieren und bewerten

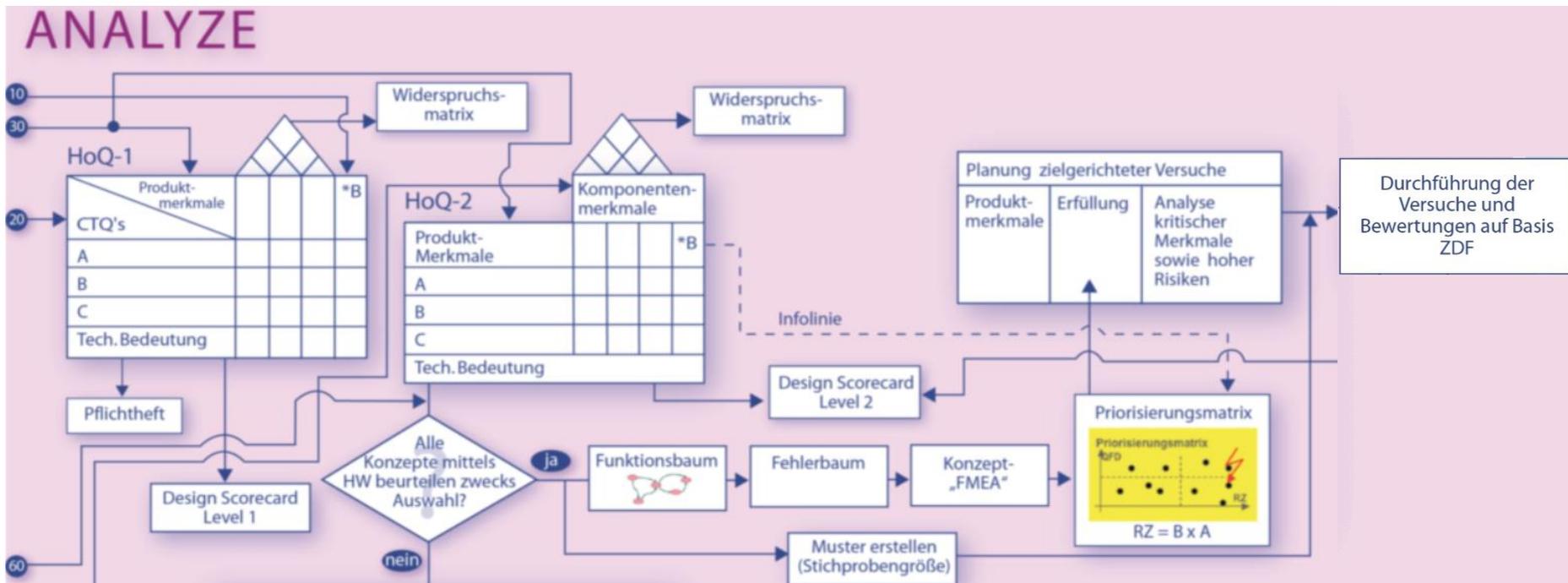
Die tauglichen Konzepte werden nach Funktionalität, Risiko, Komplexität, Kosten und terminlicher Machbarkeit bewertet und untereinander in einer Pugh-Matrix verglichen.



Es kommt sowohl die FMEA – Fehlermöglichkeits- und Einfluss-Analyse als auch die FTA – Fault Tree Analysis (Fehlerbaumanalyse) zum Einsatz.

Robust Design – 5. Konzepte aufbauen & messen

Die oder das ausgewählte Konzept wird als Muster oder Kleinserie gebaut bzw. gefertigt. Statistische Analysen auf Basis der Messdaten ermitteln die Wirkzusammenhänge der kausalen Kette,



Robust Design – 6. Mögliche Wirkzusammenhänge dokumentieren

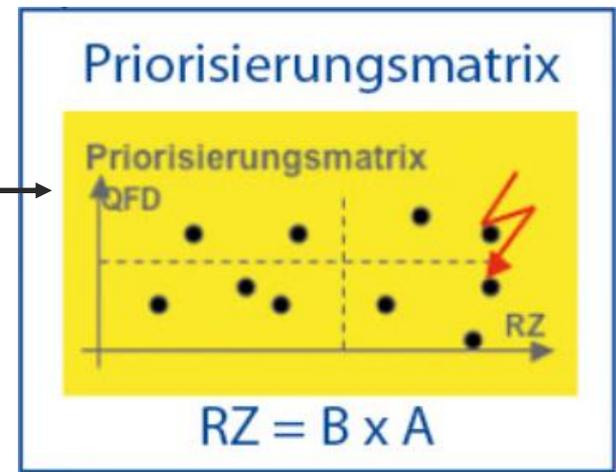
Das HoQ – House of Quality dokumentiert die möglichen Wirkzusammenhänge und damit die möglichen kausalen Ketten für Produkt und Prozesse

Produktmerkmal / Prozessparameter	Priorität	Wirkzusammenhänge													
		Gießen	Formminderdruckverlauf [bar] 1.DS/2.DS/DM	Werkzeugtemperatur [°C]	Komponententemperatur ISO [°C]	Komponententemperatur POLY [°C]	Entlüftungszeit [s]	Geschlossene Zeit [s]	Mischungsverhältnis POLY:ISO	Schusszeit [s]	Teilehandling	Trennmittelentreg aufis Bauteil [y/n]	Materialalterung POLY [n]	Materialalterung	
Farbhelligkeit	0,6		3	9	3	9	3	3	9	3	3	3	9	3	
Farbton vor PUR	4,7		1	3	3	1	9	9	3	9	3	3	3	3	
Gleichmäßigkeit der Farbe	1,8		3	9	1	3	1	9	9	9	1	1	9	1	
Sichtbare Fehler (Risse, Fugen, Leimdurchschlag, Beizränder) vor PUR	8,8		9	9	9	1	9	9	9	1	9	9	9	9	
"Sperrgrund" Blasen [cm²]	8,8		9	9	9	9	9	1	9	9	9	9	9	9	
Farbton nach PUR	6,5		3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	
Sichtbare Fehler (Risse, Fugen, Leimdurchschlag, Beizränder, Einschlüsse, Blasen (Schaumränder)) nach Oberflächenaufbauhaftung	9,4		9	3	1	9	3	1	3	3	1	1	3	1	
Störung: Wölbung/Lackblasen	10,0		3	3	1	3	1	3	3	3	1	3	3	3	
Technische Bedeutung			425	332	215	345	262	267	332	286	215	235	332	235	

Robust Design – 7. Einflussgrößen priorisieren

Produktmerkmal / Prozessparameter	Priorität	Einflussgrößen						
		Gießen	Formindendruckverlauf [bar] / DS1/DS10M	Werkzeugtemperatur [°C]	Komponententemperatur ISO [°C]	Komponententemperatur POLY [°C]	Entlüftungzeit [s]	Geschlossene
Farbhelligkeit	0,6		3	9	3	9	3	3
Farbton vor PUR	4,7		1	3	3	1	9	9
Gleichmäßigkeit der Farbe	1,8		3	9	1	3	1	9
Sichtbare Fehler (Risse, Fugen, Leimdurchschlag, Beizränder) vor PUR	8,8		9	9	9	1	9	9
"Sperrgrund" Blasen [cm ²]	8,8		9	9	9	9	9	1
Farbton nach PUR	6,5		3	3	3	1	3	3
Sichtbare Fehler (Risse, Fugen, Leimdurchschlag, Beizränder, Einschlüsse, Blasen (Schaumränder)) nach	9,4		9	3	1	9	3	1
Oberflächenaufbauhaftung Störung: Wölbung/Lackblasen	10,0		3	3	1	3	1	3
Technische Bedeutung			425	332	215	345	262	267

QFD: Technische Bedeutung aus HoQ 1, 2 oder 2+4
 RZ: aus Produkt Design FMEA und/oder Prozess FMEA



Robust Design – 8. Versuche zur Ermittlung der Produkt- / Prozesstransferfunktionen planen

Versuchsplanung zur Ermittlung der Produkttransferfunktion(en)							
Produktmerkmal	Datenart	Komp. Merkmal	Datenart	Hypothese	beabsicht. Einstellung	n	Tool
L [dB(A)]	stetig	ra - HR	stetig	je rauher HR, umso lauter	6 μ , 8 μ , 10 μ ...	15	Regression

Für Daten aus der laufenden Produktion bzw. Vorserie / Nullserie

Für Versuche / DoE – Design of Experiments während der Entwicklung / des PEP

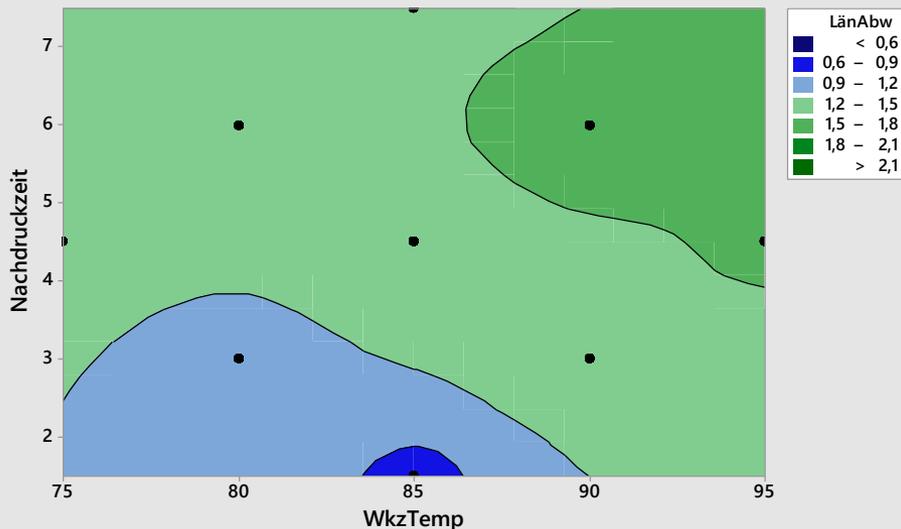
Komponentenmerkmal [X]	Importance	TB	Bemerkung/ Messverfahren	Stufe1	Stufe2	Hypothese
Deckfurnier Qualität	9	263	Vergleichsmuster	quer	längs	
Klebefilmtyp	9	219	Messung nach GS 2015	Lieferant A	Lieferant B	
Deckfurnier Dicke (Rohfurnier vor Kaschieren)	9	173	Plattentaster / Dickenschwankungen	0,4	0,7	je dünner desto besser; je gleichmäßiger desto besser
Holzkit Typ	9	156	Messung gemäß GS xxxx	Typ 1	Typ 2	Typ 2 ist besser als Typ 1
Vlies - Typ	9	144	Messung gemäß GS yyyy	VC 1	VC 2	VC 1 ist besser als VC 2
Vlies-Grammatur	9	144	Messung gemäß GS uuuu			je dicker desto welliger ;

Robust Design – 9. Statistische Analyse und Ergebnisse in die Praxis transformieren

Das Ergebnis der Versuche und / oder Messung von Produktionslosen sind die Wirkzusammenhänge, die in den **Transferfunktionen $Y = f(X_i)$** dokumentiert werden.

Das Produkt bzw. den Prozess unter Kenntnis der Wirkzusammenhänge optimieren

Längenabweichung = f(Nachdruckzeit; WkzTemp)



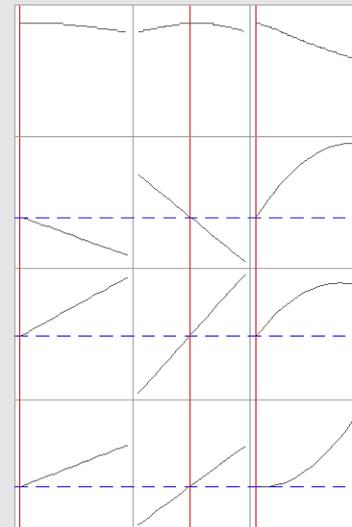
Optimal	Hoch	Nachdruc	ND Zeit	WkzTemp
D: 0,9049	Akt	525,0	7,50	95,0
	Progn.	[225,0]	[4,4091]	[75,0]
	Tief	225,0	1,50	75,0

Zusammengesetzt
Erwünschtheit
D: 0,9049

Fuge
Minimum
 $y = 0,6026$
 $d = 0,75630$

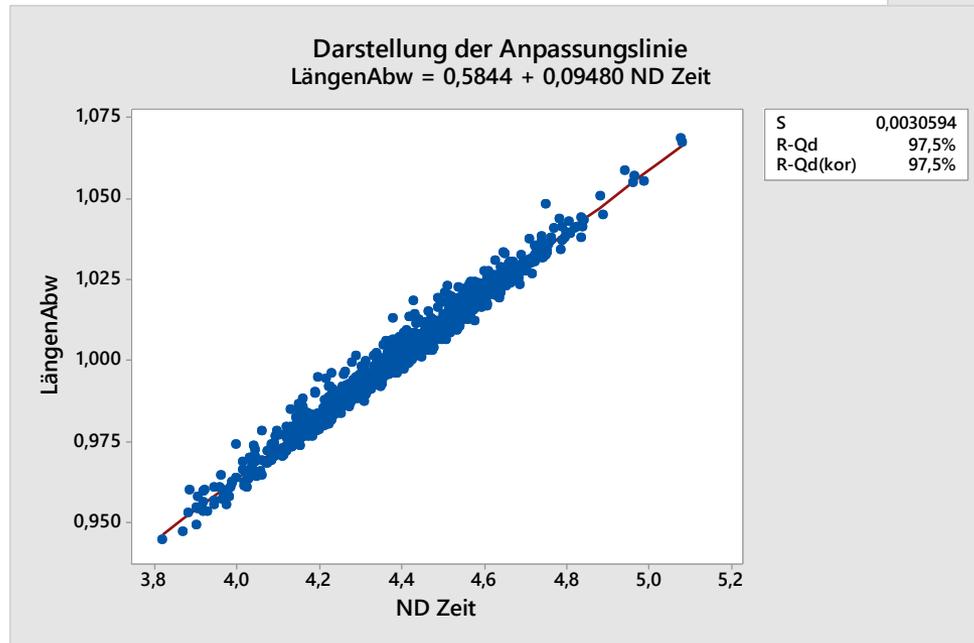
WinkelAb
Minimum
 $y = 0,2782$
 $d = 1,0000$

LängenAb
Minimum
 $y = 1,0242$
 $d = 0,97982$

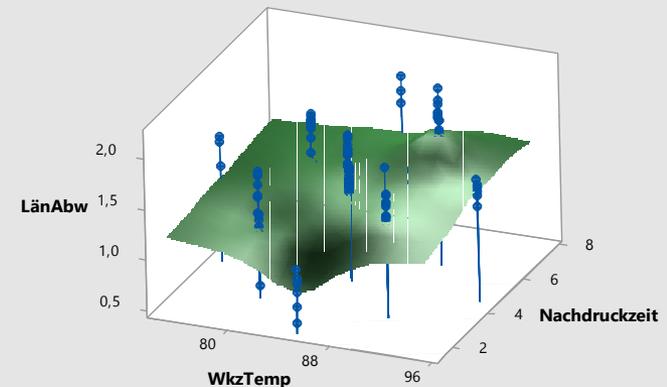


Robust Design – 9. Statistische Analyse und Ergebnisse in die Praxis transformieren

Das Ergebnis der Versuche und / oder Messung von Produktionslosen sind die Wirkzusammenhänge, die in den **Transferfunktionen $Y = f(X_i)$** dokumentiert werden.



Längenabweichung = f (Nachdruckzeit; WkzTemp)

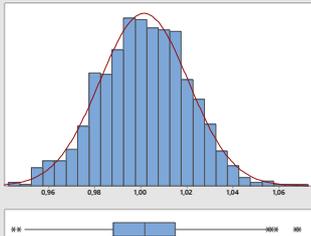


Robust Design - 10. Parametrierung und statistische Tolerierung der Einflussgrößen

Vermeiden von Over Engineering durch statistisch abgesicherte Parametrierung und statistische Tolerierung von Produktmerkmalen und Prozessparametern

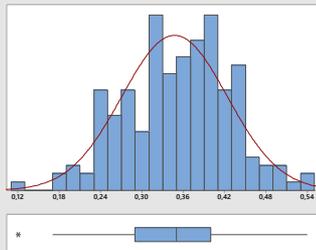
= f (

Zusammenfassung für LängenAbw



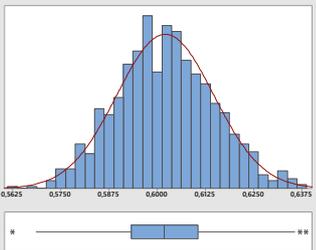
Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung	
A-Quadrat	0,40
p-Wert	0,366
Mittelwert	1,0014
StdAbw	0,0192
Varianz	0,0004
Schiefe	-0,0407861
Kurtosis	0,0182876
N	1001
Minimum	0,9448
Erstes Quartil	0,9881
Median	1,0017
Drittes Quartil	1,0148
Maximum	1,0653
95%-Konfidenzintervall für Mittelwert	1,0002
95%-Konfidenzintervall für Median	1,0032
95%-Konfidenzintervall für StdAbw	0,0184
	0,0201

Zusammenfassung für WinkelAbw



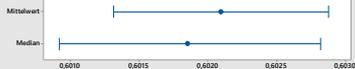
Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung	
A-Quadrat	0,48
p-Wert	0,230
Mittelwert	0,34713
StdAbw	0,07642
Varianz	0,00584
Schiefe	-0,125147
Kurtosis	-0,159220
N	178
Minimum	0,12000
Erstes Quartil	0,29000
Median	0,33000
Drittes Quartil	0,40000
Maximum	0,54000
95%-Konfidenzintervall für Mittelwert	0,33983
95%-Konfidenzintervall für Median	0,34652
95%-Konfidenzintervall für StdAbw	0,06922
	0,08530

Zusammenfassung für Fuge

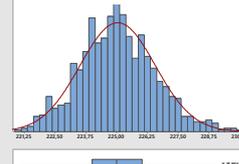


Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung	
A-Quadrat	0,43
p-Wert	0,303
Mittelwert	0,60210
StdAbw	0,01257
Varianz	0,00016
Schiefe	0,118636
Kurtosis	-0,213771
N	1001
Minimum	0,56252
Erstes Quartil	0,59335
Median	0,60185
Drittes Quartil	0,61064
Maximum	0,63859
95%-Konfidenzintervall für Mittelwert	0,60132
95%-Konfidenzintervall für Median	0,60287
95%-Konfidenzintervall für StdAbw	0,00092
	0,00282
	0,01204
	0,01314

95%-Konfidenzintervalle



Nachdruck

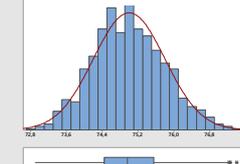


Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung	
A-Quadrat	0,70
p-Wert	0,090
Mittelwert	225,04
StdAbw	1,51
Varianz	2,34
Schiefe	0,21867
Kurtosis	0,68075
N	8001
Minimum	220,04
Erstes Quartil	224,01
Median	225,00
Drittes Quartil	226,03
Maximum	229,88
95%-Konfidenzintervall für Mittelwert	224,95
95%-Konfidenzintervall für Median	224,89
95%-Konfidenzintervall für StdAbw	1,47
	1,60

95%-Konfidenzintervalle



Werkzeugtemp.

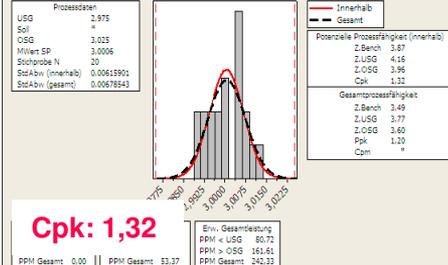


Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung	
A-Quadrat	0,97
p-Wert	0,055
Mittelwert	74,998
StdAbw	0,800
Varianz	0,639
Schiefe	0,20303
Kurtosis	-0,95228
N	1001
Minimum	72,888
Erstes Quartil	74,447
Median	74,657
Drittes Quartil	75,510
Maximum	77,819
95%-Konfidenzintervall für Mittelwert	74,949
95%-Konfidenzintervall für Median	74,908
95%-Konfidenzintervall für StdAbw	0,766
	0,856

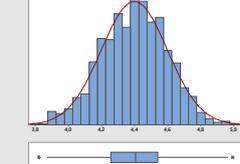
95%-Konfidenzintervalle



Granulatbestandteil xy %



Nachdruckzeit

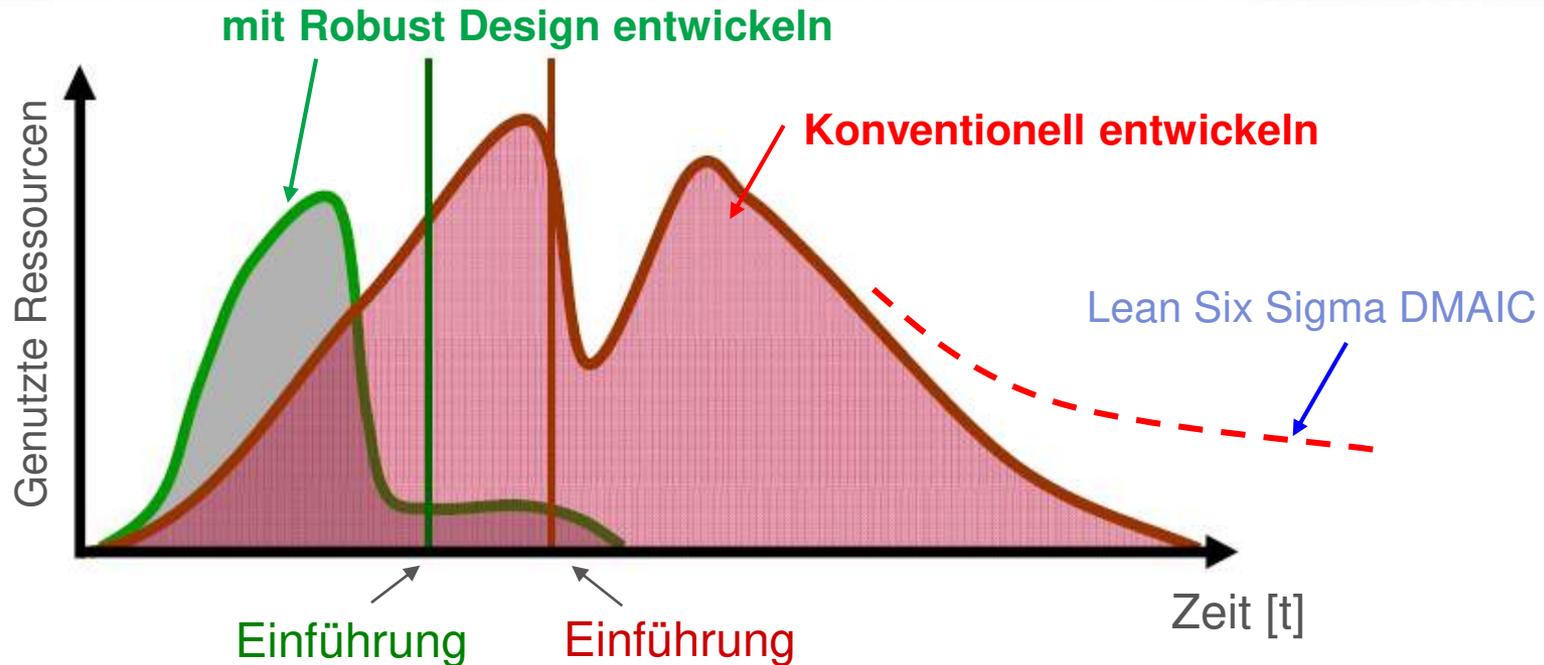


Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung	
A-Quadrat	0,183
p-Wert	0,832
Mittelwert	4,01978
StdAbw	0,0061
Varianz	0,00000
Schiefe	-0,0459887
Kurtosis	-0,0370029
N	1001
Minimum	3,999
Erstes Quartil	4,0154
Median	4,0045
Drittes Quartil	4,0140
Maximum	5,0812
95%-Konfidenzintervall für Mittelwert	4,01854
95%-Konfidenzintervall für Median	4,0001
95%-Konfidenzintervall für StdAbw	0,0017
	0,0093

95%-Konfidenzintervalle



Robust Design - Ressourcenbedarf



Was ist neu an der Entwicklung mit Robust Design?

- Pro-aktiver, verlässlicher und vorhersagbarer Entwicklungsprozess
- Kundenwünsche umfassender betrachten, Risiken erarbeiten
- Kritische Designparameter identifizieren und Wirkzusammenhänge verstehen
- Verstehen der kausalen Kette → Robustes Design für Produkt & Prozesse

Kontakt

mts Consulting & Engineering GmbH

Wernher-von-Braun-Str. 8

D-82256 Fürstenfeldbruck

Tel.: 08141-888403-0

Mail: info@mts-contech.com

www.mts-contech.com